

TEXTO PARA **DISCUSSÃO**

2465

**AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE
ESCOLHA DE OPERADOR PELOS
EMBARCADORES DE CARGA:
UMA PROPOSTA DE CUSTOS
GENERALIZADOS DE TRANSPORTE**

**Tatiana Kolodin Ferrari
Fabiano Mezadre Pompermayer**



AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE OPERADOR PELOS EMBARCADORES DE CARGA: UMA PROPOSTA DE CUSTOS GENERALIZADOS DE TRANSPORTE

Tatiana Kolodin Ferrari¹

Fabiano Mezadre Pompermayer²

1. Pesquisadora do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diset/Ipea.

Governo Federal

Ministério da Economia
Ministro Paulo Guedes

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Carlos von Doellinger

Diretor de Desenvolvimento Institucional, Substituto
Manoel Rodrigues dos Santos Junior

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia
Alexandre de Ávila Gomide

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
José Ronaldo de Castro Souza Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais
Aristides Monteiro Neto

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura, Substituto
Bruno César Pino Oliveira de Araújo

Diretora de Estudos e Políticas Sociais
Lenita Maria Turchi

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais
Ivan Tiago Machado Oliveira

Assessora-chefe de Imprensa e Comunicação
Mylena Pinheiro Fiori

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>
URL: <http://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2019

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).
Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: L91; C35.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3 PESQUISA EPL COM OS EMBARCADORES	17
4 ANÁLISE	20
5 PROPOSTA PARA A CONSTRUÇÃO DA FUNÇÃO DE CUSTO GENERALIZADO DE TRANSPORTE	32
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	39
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	42

SINOPSE

Este *Texto para Discussão* apresenta a avaliação dos critérios qualitativos considerados por embarcadores de carga quando vão contratar serviços de transporte (frete) junto a operadores logísticos e transportadores no Brasil. Para tanto, são utilizados os dados de uma enquête realizada pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL), em que um jogo de preferências declaradas foi simulado com os embarcadores. Foi possível obter os valores de predisposição a pagar (*willingness to pay* – WTP) para os atributos tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança, por meio de um modelo *mixed logit*. Em geral, o frete apresentou um peso de 83% no processo de escolha de operador pelos embarcadores; o tempo teve peso de 8%; e os demais atributos, em torno de 3% cada. Os resultados globais de WTP, para uma viagem com distância média de 500 km, foram de: R\$ 2,33/t para a redução de uma hora de viagem; R\$ 4,70/t para se ter 95% de certeza no horário de entrega (confiabilidade); R\$ 5,14/t para que se tenha flexibilidade na entrega; e R\$ 6,25/t para limitar as perdas em até 0,25% (segurança). Esses resultados variam em função da distância da viagem e da região do país para onde o embarcador irá enviar suas cargas. Entretanto, não houve variações significantes para o tipo de carga, possivelmente pela maior parte dos respondentes da enquête operar cargas industrializadas, enquanto apenas uma pequena parte operava granéis minerais e agrícolas. Uma função de custo generalizada de transporte foi proposta para ser utilizada em modelos de alocação em rede para planejamento da rede de transportes, como os da EPL. Com essa função de custo, será possível incorporar os fatores qualitativos considerados pelos embarcadores em suas escolhas de modo e rota de transporte, desde que os arcos da rede modelada contenham os respectivos índices de tempo, segurança e confiabilidade.

Palavras-chave: transporte de carga; escolha modal; parâmetros qualitativos em transporte; função de custo generalizado de transporte.

ABSTRACT

This Working Paper presents the evaluation of the qualitative criteria considered by cargo shippers when they contract freight services with logistic operators and transporters in Brazil. To do so, the data of a survey carried out by the Planning and Logistics Company (EPL), in which a set of stated preferences was simulated with the shippers, are used. It was possible to obtain the willingness to pay (WTP) values for the attributes time, reliability, flexibility and security, through a mixed logit model. In general, freight had

a weight of 83% in the shippers' process of choosing the carrier; the time had weight of 8%, and the other attributes around 3% each. The overall WTP results, for a trip with an average distance of 500 km, were: R\$ 2.33/t for the reduction of one hour of travel; R\$ 4.70/t to have 95% certainty in the delivery time (reliability); R\$ 5.14/t for flexibility in delivery; and R\$ 6.25/t to limit losses by up to 0.25% (security). These results vary depending on the distance of the trip and the region of the country where the cargo will be shipped. However, there were no significant variations for the type of cargo, possibly by most survey respondents operate with industrialized cargoes, while only a small part operated mineral and agricultural bulk. A generalized transport cost function was proposed to be used in network allocation models for transport network planning purposes. With such a cost function, it will be possible to incorporate the qualitative factors considered by the shippers into their transport mode and route choices, provided that the arcs of the modeled network contain the respective parameters of time, safety and reliability.

Keywords: freight transportation; modal choice; qualitative aspects in transportation; transportation generalized cost function.

1 INTRODUÇÃO

A matriz de transporte de cargas no Brasil está fortemente concentrada no modo rodoviário. As estimativas realizadas pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL), para o ano de 2015, calculam em 65% a participação do modo rodoviário, enquanto que os modos ferroviário, cabotagem e hidroviário contabilizaram 15%, 11% e 5%, respectivamente. Essa elevada dependência do transporte de cargas ao setor rodoviário tem um enorme impacto nos custos e na competitividade das empresas do Brasil. Conforme aponta Menelau (2012), uma infraestrutura de transporte não satisfatória eleva os custos logísticos do país. Ele destaca, ainda, que o modo rodoviário possui vantagens devido a sua flexibilidade, mas que possui maiores custos em relação aos modos ferroviário e aquaviário, devido ao consumo de combustível e menor capacidade de consolidação de cargas, além de proporcionar maiores impactos ambientais.

Além disso, apesar de o país possuir uma extensa malha rodoviária, as condições nem sempre são boas. Mencionando apenas alguns dados sobre as condições rodoviárias obtidas na pesquisa realizada pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT), observa-se que apenas 12,3% das rodovias são pavimentadas, 86,6% são de pista simples e 42,4% não possuem acostamento (CNT, 2016). Da avaliação realizada pela própria CNT, as deficiências nas estradas causam alto consumo de combustível, maior desgaste da frota de veículos, maior ocorrência de acidentes e danos ambientais. “Esses efeitos prejudicam sobretudo a eficiência das cadeias logísticas do país, reduzindo a competitividade do produto brasileiro e comprometendo o desenvolvimento econômico” (CNT, 2016, p. 342).

No Brasil, os demais modos possuem oferta insuficiente, também são marcados por problemas regulatórios e têm a desvantagem de serem mais lentos para o embarcador. Em vista disso, torna-se importante entender quais fatores são importantes para os embarcadores no sentido da escolha de modo, rota e prestador de serviço, a fim de aperfeiçoar os investimentos na melhoria das infraestruturas de transporte.

A análise do processo de escolha modal no transporte de carga é muito importante para o planejamento e o gerenciamento da cadeia logística, uma vez que permite determinar a escolha mais adequada a ser feita pelos usuários em função de alterações nos atributos dos modos de transporte e, assim, estimar a demanda por variadas modalidades em diferentes situações. A decisão logística sobre o modo de transporte a

ser utilizado, no entanto, não é uma solução trivial, pois envolve uma série de fatores, além dos custos. Assim, um dos desafios para a área de logística está em solucionar o melhor modo de transporte para o carregamento específico de cada carga.

Dessa forma, esta pesquisa pretende identificar os aspectos da percepção do embarcador no Brasil, desenvolver uma metodologia de escolha modal e calibrar as curvas de elasticidade de demanda de transporte. Os fatores a influenciar os embarcadores em suas decisões são muitos. Há variáveis que impactam diretamente no custo monetário de transporte e outras que não são mensuradas diretamente, mas que exercem uma importante influência no processo de decisão do embarcador, sendo atributos ligados à qualidade e eficiência do serviço.

Em geral, os custos de transporte são estimados apenas sobre as variáveis quantificáveis, ou seja, no preço pago pelo embarcador no transporte total. As variáveis qualitativas, no entanto, também podem ter um impacto considerável sobre os custos e, indiretamente, sobre a escolha modal dos embarcadores de carga. Como forma de estimar o impacto de variáveis qualitativas e propor uma função de custo generalizada, foram utilizados os dados gerados por uma pesquisa de preferência declarada, conduzida pela EPL, em que os fatores custo, tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança foram analisados. Assim, as possibilidades de escolha de modo e de rota em processos de alocação de fluxos na rede de transporte podem usar essa função de custo, com a qual, desde que os arcos da rede contenham esses atributos qualitativos, espera-se maior aderência aos padrões reais de transporte inter-regional de carga no país.

Além desta introdução, este trabalho contém, na seção 2, uma revisão de literatura sobre o estudo do transporte de cargas, buscando enfatizar os fatores ao longo do transporte considerados importantes pelos embarcadores, aplicações de estudos para análise de escolha modal e estudos realizados no Brasil. A seção 3, por sua vez, descreve a base de dados utilizada. Na seção 4, apresenta-se a metodologia utilizada e os resultados em termos de peso atribuído a cada atributo pelo embarcador e o valor monetário estimado. A seção 5 discute como utilizar os parâmetros estimados para a composição de uma função de custo generalizado de transportes para, num processo de alocação de fluxos em uma rede, incorporar as variáveis não monetárias na escolha modal e de rota. Por fim, as conclusões são apresentadas.

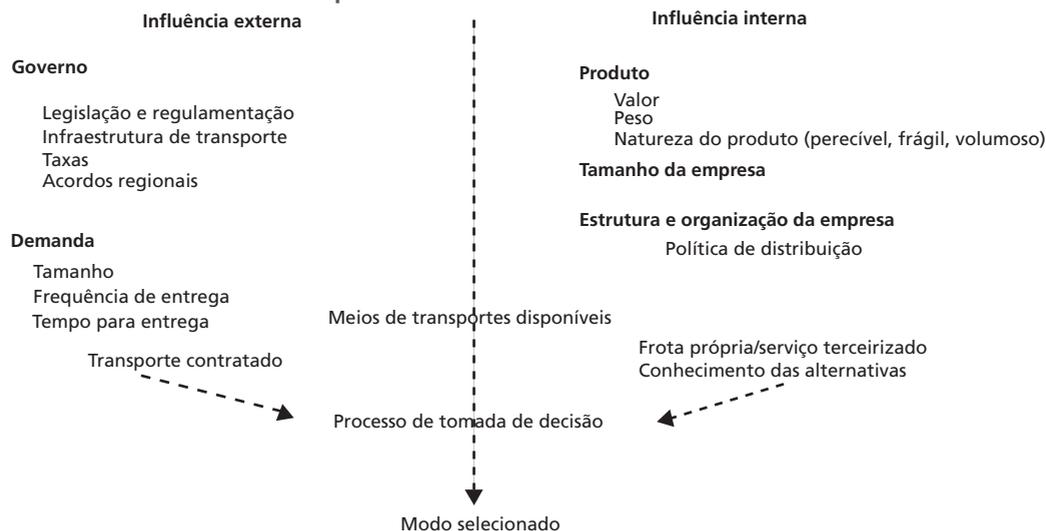
2 REVISÃO DE LITERATURA

A suposição de que fatores qualitativos possuem uma elevada influência nas decisões sobre a forma do transporte de cargas é de amplo consentimento na literatura. Conforme aponta Hashiba (2012), mudanças globais nas relações de produção e de comércio exigem soluções logísticas que apresentem bom desempenho em termos de nível de serviço, além de custos competitivos. Pouco se sabe, no entanto, sobre o grau de influência desses fatores sobre a decisão do prestador de serviço, envolvendo indiretamente a escolha de rota e de modo de transporte, optado pelo embarcador.

De acordo com Meixell e Norbis (2008), a decisão sobre o modo de transporte não é uma decisão trivial, uma vez que o processo envolve múltiplos critérios, sendo alguns não quantificáveis diretamente. No mais, enfatizam que existem fatores individuais que diferem de empresa para empresa e com relação ao produto a ser transportado. Nesse aspecto, o conhecimento dos fatores que determinam a escolha dos serviços de transporte se torna importante para a compreensão do mercado do transporte de mercadorias e para a concepção de sistemas de transporte competitivos (Flöden, Barthel e Sorkina, 2010).

A revisão de trabalhos que procuram entender o processo de decisão do modo de transporte aponta uma série de variáveis a influenciar a decisão modal. De acordo com Jeffs e Hills (1990), as variáveis podem ser agrupadas em seis grupos principais: requisitos do cliente; características do produto; estrutura e organização da empresa; intervenções governamentais; disponibilidade de transporte; e percepções do tomador de decisão. Banomyong e Beresford (2000) classificaram esses parâmetros como fatores externos e internos. Os fatores externos são relacionados a infraestrutura de transporte, taxas e características da demanda, enquanto os fatores internos são aqueles provenientes das características da empresa e do produto. A interação e inter-relação entre os fatores é que irá determinar qual o modo de transporte será utilizado. A figura 1 sumariza essa divisão dos critérios e o processo de decisão.

FIGURA 1
Divisão dos critérios no processo de escolha modal



Fonte: Banomyong e Beresford (2000).

Na área de transporte, as pesquisas em geral são baseadas em dados de preferência revelada, isto é, observados dos padrões de viagens. Esses dados, entretanto, são escassos e de difícil obtenção. Além disso, nesse tipo de informação não é possível determinar como os aspectos qualitativos influenciam no processo de tomada de decisão. Nesse sentido, as pesquisas de preferência declarada se apresentam como uma técnica bastante robusta para obtenção das preferências individuais, capazes de observar os determinantes qualitativos.

De acordo com Kroes e Sheldon (1988), os métodos de preferência declarada se referem às técnicas que utilizam declarações dos indivíduos sobre suas escolhas em um conjunto de opções de transporte para estimar suas funções de utilidade. A vantagem desse método está na obtenção de uma gama maior de informações sobre as preferências potenciais, sendo possível individualizar os diferentes atributos em cenários hipotéticos. Assim, com base nas escolhas, assumindo a existência de um tipo específico de função de utilidade, o valor dos atributos pode ser estatisticamente determinado (Danielis e Rotaris, 1999).

Nesta revisão de literatura, procura-se apresentar estudos realizados sobre transporte de cargas com ênfase nos que utilizaram técnicas de preferência declarada. O objetivo é identificar os principais atributos considerados na literatura a afetar

a escolha modal, assim como levantar as técnicas de modelagem da preferência e formas para incorporar os aspectos qualitativos dentro das análises de tomada de decisão. Na subseção a seguir são apresentados estudos que buscaram identificar os fatores que estão por trás da escolha do modo de transporte e trabalhos ligados à estimativa de funções de custo que incorporam essas variáveis qualitativas. Em seguida, apresentam-se estudos aplicados ao contexto brasileiro sobre o transporte de cargas.

2.1 Fatores para a escolha modal

Cullinane e Toy (2000) consideram que as pesquisas de preferência declarada na escolha modal de cargas primeiramente devem identificar os atributos mais relevantes para a tomada de decisão. Nelas, o número de atributos, em geral, é limitado. Ortúzar e Willumsen (2001) recomendam que o pesquisador mantenha o experimento de escolha simples, sem sobrecarregar o entrevistado, visto que elevado número de opções pode fatigar o respondente e reduzir a confiabilidade das respostas. Portanto, torna-se importante uma concisa seleção das variáveis a serem consideradas. Assim, uma parte da literatura se concentrou na identificação dos atributos mais relevantes para a escolha modal de cargas.

McGinnis (1979) procurou avaliar as atitudes dos embarcadores em relação a uma série de variáveis que afetam a sua escolha de transporte. O trabalho aplicou um questionário em 351 embarcadores dos Estados Unidos, que tiveram que indicar o grau de importância em 31 questões associadas a oito atributos. Aplicando análise fatorial e teste *t* de Student, obteve-se uma ordenação de importância dos fatores, sendo os três principais: velocidade e confiabilidade, taxa do frete e perdas e danos. De acordo com o autor, a interpretação correta é a de que os três fatores são muito importantes, e é improvável que um domine de forma constante o processo de escolha dos embarcadores.

O trabalho de Cullinane e Toy (2000) analisou 75 trabalhos relacionados com a escolha modal do transporte de cargas. Utilizando uma metodologia de análise de conteúdo, foram identificados os fatores mais frequentes, sendo os cinco primeiros, em ordem de importância: custo/preço/taxa, velocidade, confiabilidade no tempo de trânsito, características dos produtos e serviços.

Roberts (2012) realizou entrevistas com especialistas da indústria para entender os atributos considerados na decisão da escolha do embarcador e do modo de

transporte. Nesse último, foi observado que o primeiro nível da decisão se baseia na natureza do produto: se o produto permite que uma escolha modal seja feita, a decisão é fortemente ponderada em termos de custo e capacidade. Também foi notado que existe uma preocupação crescente das empresas com aspectos ambientais, motivados por regulamentações e incentivos de organizações sociais.

Para Cook *et al.* (1999), a decisão do transporte a ser utilizado decorre da minimização do custo logístico total. Dessa forma, os autores trazem a ideia de gestores racionais que conhecem todos os custos envolvidos em cada forma de transporte, isto é, sabem que existem gastos recorrentes de outros fatores, como por perdas de cargas, inventários, confiabilidade da entrega etc., e conseguem avaliá-los, nem sempre escolhendo a menor tarifa, mas buscando sempre a redução do custo logístico total.

Outra linha de pesquisa procura dar ênfase à aplicação de modelos estatísticos para determinar a relação entre a escolha modal e os critérios a influenciar essa escolha. A abordagem metodológica mais utilizada se baseia na teoria de escolha discreta: nela, considera-se basicamente que cada indivíduo possui um conjunto de alternativas, sendo que cada uma possui uma série de características associadas. O indivíduo irá escolher apenas uma entre todas as escolhas possíveis, sendo aquela que lhe garante o maior nível de utilidade.

Não é possível, contudo, ter conhecimento de todos os atributos das alternativas confrontadas pelo tomador de decisão, e nem identificar todas as preferências dele. Assim, um termo de erro é introduzido aos modelos para capturar a diferença entre a escolha real e a escolha dada a utilidade observada. Formalmente, a utilidade que um determinado indivíduo n atribui a uma alternativa i será dada por um componente determinístico (V_{ni}) mais o termo de erro (ε_{ni}).

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (1)$$

A grande diferença entre os estudos está na especificação dos atributos da função de utilidade e das alternativas. Já o diferencial entre os modelos está na forma de tratamento do termo de erro. A especificação dos atributos varia em função dos objetivos da análise e da base de dados disponível.

Jiang, Johnson e Calzada (1999) analisaram como as características da demanda do transporte de cargas influenciam na escolha modal utilizando-se de um modelo *logit* multinomial aninhado. A pesquisa, aplicada para a França, teve como primeira tomada de decisão a escolha entre a utilização de transporte privado ou público; na segunda etapa, a escolha se deu entre a utilização de rodovia, ferrovia ou transporte combinado no âmbito do transporte público. Um resultado interessante encontrado pelo estudo diz respeito ao atributo de distância, sendo um dos principais fatores na escolha modal. Para distâncias curtas, o transporte rodoviário é dominante, não havendo espaço para competição, mas à medida que a distância aumenta para mais de mil quilômetros, a decisão do modo muda, com maior preferência por ferrovias e transporte combinado.

O trabalho de Beuthe e Bouffieux (2008) realizou uma pesquisa de preferência revelada com os embarcadores da Bélgica procurando captar a importância dos atributos de frequência, tempo, confiabilidade, flexibilidade, perdas e custo, além de questioná-los sobre a sua disponibilidade em mudar o modo de transporte utilizado.

A análise consistiu na aplicação de um modelo *logit* ordenado, com os dados divididos em subgrupos, de acordo com características do produto e da empresa. Os resultados encontrados alertam sobre o fato de serem geradas análises generalizadas e mostram que a importância e o valor que os embarcadores dão para os diferentes atributos envolvidos no transporte variam consideravelmente, dados o tipo e o valor dos produtos transportados; a distância e o tempo de transporte; a logística interna e externa da firma; e a configuração da cadeia de transporte. No mais, o custo foi apontado como principal atributo para a tomada de decisão. Os demais também são relevantes, mas seu peso é diferenciado para cada tipo de empresa considerada.

Em conformidade com o averiguado, de não se poder gerar resultados generalizados, o trabalho de Fridstrom e Madslie (1995 *apud* Flöden, Barthel e Sorkina, 2010) avaliou o atributo de atraso em diferentes segmentos de cargas transportadas. Detectaram que o aumento de 1% no risco de atrasos varia de 2% nos custos de transporte para o segmento de cargas gerais, que não possuem um tempo de entrega específico, a 13%, nos custos para o segmento de transporte de comidas, com tempo específico para entrega.

Entender as variáveis que são levadas em conta pelos embarcadores é importante no sentido de estimar as escolhas modais. A questão que surge, no entanto, é: como esses

critérios qualitativos podem ser incorporados no processo de decisão? Ou seja, como expressar esses atributos em valores que podem ser medidos por uma função de custo total?

Na área de economia de transportes, o conceito de custos generalizados é utilizado para capturar esses componentes que afetam o desempenho do transporte. Segundo Grosso (2011),

na economia dos transportes, um método para capturar todos os componentes relevantes que afetam o desempenho do transporte é o uso do conceito de custo generalizado. A soma das variáveis monetárias e variáveis não monetárias fundem-se no conceito de custo generalizado. Essa abordagem (...) é comumente aplicada e constitui a base metodológica de inúmeros estudos e pesquisas. (Grosso, 2011, p. 5, tradução nossa).

Formalmente, uma maneira simples de expressar a função de custos generalizados (G) é dado por:

$$G = c + u(m_1, m_2, \dots, m_n) \quad (2)$$

Onde c se refere aos custos monetários incorridos no transporte e u representa uma função dos custos não monetários referentes aos atributos m .

Bolis e Maggi (2003) empregaram o conceito de custos generalizados para avaliar a demanda do transporte de cargas levando em conta o contexto logístico. Aplicaram uma pesquisa de preferência declarada em 22 firmas do norte da Itália e na Suíça, medindo os aspectos qualitativos e avaliaram o *trade-off* entre as variáveis de tempo, confiabilidade, flexibilidade e frequência, para estimar seu valor em termos monetários. Dos resultados obtidos, recalibraram a função de custo do modelo de transporte de cargas e identificaram a propensão a pagar dado uma melhoria dos serviços.

Procurando tornar o sistema de transporte de cargas mais sustentável, em 2007, a Comissão Europeia anunciou um plano de ação europeu para o transporte de cargas. Introduziu-se também o conceito de corredores de transporte verde, que se baseia na combinação de transporte marítimo, ferroviário, hidroviário interior e transporte rodoviário para viabilizar soluções de transporte ecologicamente corretas para a indústria europeia (European Commission, 2009). Entre as medidas, propuseram uma revisão da tarifação do transporte rodoviário, aquisição de equipamento de transporte

combinado, equipamento de transbordo e ajuda a sistemas de informação. Conforme apontam Hanssen, Mathisen e Jorgensen (2012), os resultados alcançados, no entanto, ficaram aquém do esperado. Para entender as causas do problema, os autores propõem um método para estimar os custos generalizados do transporte intermodal. A ideia é que, a fim de se tornar atrativo, esse meio deve possuir seus custos totais (o que inclui qualidade dos serviços e tempo) menor ou igual ao utilizado anteriormente.

2.2 Estudos sobre o transporte de cargas no Brasil

Hashiba (2012) chama atenção para diferenças na literatura sobre a escolha modal em relação ao local estudado. Segundo a autora, os estudos internacionais dão um enfoque maior na logística de transportes dentro da cadeia produtiva, e no Brasil, os estudos realizados têm o seu foco voltado na avaliação dos custos de transporte. As variadas abordagens seriam devido a diferenças no desenvolvimento da infraestrutura de transporte e do perfil das cargas transportadas.

Para o caso específico do Brasil, alguns trabalhos foram realizados para explicar a escolha modal no transporte de cargas. A seguir, apresentaremos os principais estudos identificados, os quais utilizam diferentes metodologias.

O trabalho de Oliveira (2004), por meio da metodologia Neuro-Fuzzy, procurou estabelecer um modelo de escolha modal de transporte de cargas considerando como critérios: *i*) o custo de transporte; *ii*) o valor agregado da carga; *iii*) a frequência da oferta e o tempo em trânsito; *iv*) a confiabilidade, perdas e danos; *v*) a disponibilidade e qualidade dos serviços logísticos; *vi*) a acessibilidade do sistema de transporte; e *vii*) a flexibilidade modal. O autor adota uma estrutura *bottom-up*, partindo desses critérios e agrupando-os em duas classes finais: custos totais e nível de serviço.

Leal Júnior (2010) desenvolveu um método de avaliação de escolha modal voltada para o transporte de produtos perigosos. O objetivo do trabalho é incorporar, além de variáveis de eficiência em termos competitivos, variáveis de impactos ambientais, que podem vir do risco de acidentes com a carga ou pela poluição causada na operação. O estudo mostra que, para o caso de produtos perigosos, a segurança é extremamente importante para a escolha do transporte utilizado. O autor ressalta, no entanto, o fato de que, com a atual infraestrutura de transportes no Brasil, não são obtidos ganhos ao se utilizar os modos

ferroviário e hidroviário no transporte de bioetanol. O dutoviário, que demonstrou ser o mais adequado, não possui infraestrutura instalada para tal. Isso faz com que as empresas sejam dependentes do modo rodoviário, todavia, a pesquisa foi capaz de apontar organizações que estariam dispostas a usar outra alternativa para reduzir o impacto ambiental.

Hashiba (2012) propôs uma metodologia de escolha modal do transporte de carga com base na metodologia de análise hierárquica. A estrutura do modelo de decisão se deu em dois níveis. No primeiro, foram considerados critérios de custo, atendimento às particularidades da carga e confiabilidade. No segundo, os subcritérios foram: custo, acessibilidade, flexibilidade, oferta de instalações logísticas, pontualidade, perdas e danos, e informação ao cliente. A aplicação de Hashiba (2012) foi específica para o transporte de açúcar para exportação, avaliando a escolha entre os modos rodoviário e ferroviário. Consideraram-se três situações, em função da distância percorrida e da forma de transporte da carga, sendo: *i*) o primeiro estudo de caso referente ao açúcar a granel e uma distância média (de Araraquara para Santos, em São Paulo – 350km); *ii*) o segundo estudo, açúcar a granel, mas para uma distância mais longa (de Fernandópolis para Santos, também em São Paulo – 630km); e *iii*) o açúcar em contêiner, em distância média (de Araraquara para Santos – 350km). Os resultados mostraram que, no caso dois, houve uma preferência pelo modo ferroviário, enquanto nos outros dois casos o meio rodoviário foi o preferido. A escolha se deu preponderantemente pelo custo logístico. Entre os subcritérios, a maior contribuição para a tomada de decisão veio das perdas e danos.

Utilizando técnicas de preferência declarada, o trabalho de Novaes *et al.* (2006) avalia os fatores relevantes para a escolha dos modos de transporte rodoviário, ferroviário e de cabotagem. Os atributos considerados foram o valor do frete, a confiabilidade, o tempo até o destino final; o intervalo da disponibilidade do modo de transporte entre embarques; e a segurança. A coleta dos dados foi realizada durante um seminário na área de transporte em Florianópolis, em Santa Catarina, e contou com entrevistas a gestores do governo, representantes de setores produtivos e transportadores. A análise foi realizada por modelagem de escolha discreta, utilizando-se o modelo do tipo *logit* multinomial. Os resultados apontaram os critérios de confiabilidade e valor do frete como os mais significativos para a escolha modal.

Larranaga, Arellana e Senna (2017) também conduziram uma pesquisa de preferência declarada, em que contemplaram três alternativas de tipo de transporte:

i) rodoviário; *ii)* intermodal, considerando ferrovia; e *iii)* intermodal, considerando hidroviário e analisando os atributos de custo, tempo, confiabilidade e porcentagem de atrasos de mais de dois dias na entrega. A pesquisa foi aplicada no estado do Rio Grande do Sul e contou com cinquenta entrevistas, sendo os embarcadores categorizados de acordo com a distância e o tipo de produto transportado. Aplicando um modelo *mixed logit* com componente de erro, estimaram um valor para a economia de tempo de R\$ 1,088/t por hora. Com relação à intermodalidade, mostraram que os embarcadores são bastante sensíveis ao custo e a entrega no tempo correto, e, portanto, redução no custo e melhora na confiabilidade do serviço podem gerar maior participação do transporte intermodal.

3 PESQUISA EPL COM OS EMBARCADORES

A pesquisa de preferência declarada utilizada neste estudo foi realizada pela EPL, entre os anos de 2014 e 2015, a qual abrangeu mais de 13 mil entrevistas realizadas com embarcadores em todo o Brasil. Eles foram classificados de acordo com a sua localização geográfica em sete vetores logísticos (figura 2): Amazônico, Centro Norte, Leste, Nordeste Setentrional, Nordeste Meridional, Centro Sudeste e Sul.¹ A amostra foi estratificada com base no tamanho da empresa e com relação ao tipo de produto transportado em cada um dos vetores logísticos, contemplando uma amostra total de 13.039 empresas.

O questionário aplicado consistiu em duas partes: a primeira abordou informações gerais sobre a empresa, o produto e instrumentos regulatórios, com o objetivo de identificar o perfil da empresa e como ela utiliza atualmente o sistema de transporte. A segunda procurou avaliar o processo de escolha, em que os entrevistados foram submetidos a oito conjuntos de dois cartões, tendo que decidir a melhor opção a ser utilizada pela empresa em suas contratações de transporte.

1. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/perfil-de-embarcadores-e-servicos-demandados>>.

FIGURA 2
Vetores logísticos definidos na pesquisa de embarcadores da EPL



Fonte: EPL.

Conforme exposto na revisão de literatura, estudos anteriores apontam uma série de atributos a influenciar no processo de escolha. Em conformidade com a revisão e os atributos identificados como os mais relevantes, a pesquisa da EPL tratou de cinco fatores, sendo eles:

- custo: o custo por tonelada de transporte para envio da carga da sua origem até o seu destino;
- tempo: o tempo total de entrega desde a sua origem até o seu destino;
- confiabilidade: o nível de certeza de que a carga será entregue no horário previsto;
- flexibilidade: a flexibilidade de horários e de locais de entrega do serviço de transporte; e
- segurança: a segurança da carga, sem perdas ou danos decorrentes da operação do serviço de transporte.

Os valores do cartão-base dos atributos de tempo e custo foram definidos de acordo com o questionário da parte inicial. Já os atributos de confiabilidade, flexibilidade e segurança foram selecionados de forma aleatória por embarcador, permanecendo fixos nos oito cartões do questionário. Os níveis aplicados para cada atributo estão resumidos na tabela 1.

TABELA 1
Níveis especificados para os atributos custo, tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança

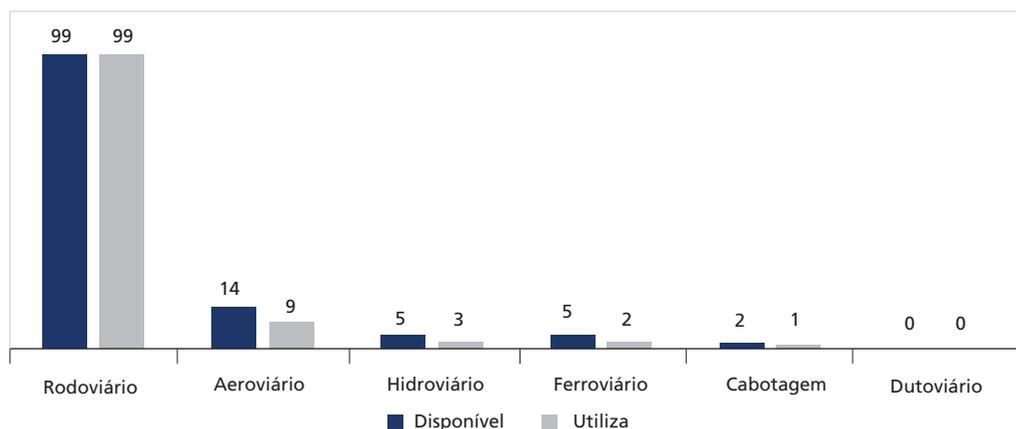
Variável	Nível
Custo	-20%
	-10%
	10%
	20%
Tempo	-20%
	20%
Confiabilidade	> 95%
	80% a 95%
Flexibilidade	Com flexibilidade
	Sem flexibilidade
Segurança	Até 0,25% de perdas
	Acima de 1% de perdas

Fonte: EPL.

Uma das limitações da pesquisa surge pelo fato de o questionário ser baseado na disponibilidade do modo de transporte respondido pelo embarcador. Conforme resultados apresentados pela pesquisa, 99% dos entrevistados têm à sua disposição o modo rodoviário. Com relação aos demais modos de transporte, apenas 14% têm acesso ao transporte aeroviário, 5% aos modos ferroviário e hidroviário, 2% ao modo de cabotagem e nenhum respondeu se utiliza o modo dutoviário (gráfico 1). Esse fato faz com que a pesquisa dê maior importância para as características da demanda por modo rodoviário, não conseguindo captar propensões ao uso de outros modos não disponíveis em determinadas localidades.

A divulgação da pesquisa contou também com uma análise dos dados tanto por análise exploratória estatística quanto pela modelagem econométrica, aplicando-se um modelo *logit*. Com relação a esse último, o modelo final aplicado considerou o modelo global e a divisão por porte da empresa. As elasticidades foram calculadas para todos os cinco atributos, encontrando alta sensibilidade para variações no custo.

GRÁFICO 1
Modo de transporte declarado disponível pelos embarcadores
(Em %)



Fonte: EPL.
Elaboração dos autores.

4 ANÁLISE

4.1 Metodologia

Na área de economia de transportes, o conceito de custos generalizados é utilizado para capturar todos os componentes relevantes a afetar o desempenho de um sistema de transporte. Basicamente, se refere à soma das variáveis consideradas, sendo elas monetárias ou não.

Os custos de transporte geralmente são tratados por uma relação entre o tempo e os custos monetários envolvidos na atividade. Existem, entretanto, outros fatores associados à qualidade do serviço que também são levados em conta pelo embarcador no momento de escolha da sua rota ou modo de transporte. Assim, a ideia da utilização de custos generalizados neste trabalho é expandir a função de custo para as empresas que buscam minimizá-lo enquanto mantêm certo nível de qualidade nos serviços requeridos pelos seus consumidores.

Os atributos levados em conta envolvem as qualidades de confiabilidade, flexibilidade e segurança no transporte de cargas, conforme discutido nas seções anteriores, além do tempo e custo monetário. Assim, a função de custo generalizada (G) pode ser expressa como:

$$G = C + f(T + CF + F + S) \quad (3)$$

Em que C são os custos monetários; T a variável tempo de viagem; CF a confiabilidade de que a carga será entregue no horário previsto; F representa a existência ou não de flexibilidade na entrega; e S a segurança da carga. Esses atributos afetam, inclusive, a escolha modal do embarcador, dado que cada modo de transporte tende a apresentar valores bem distintos em cada atributo. Assim, é necessário considerá-los em uma função de custo generalizado que pode ser usada para simular as decisões de embarcadores e transportadores relativas à escolha modal e de rota, em modelos de planejamento de transportes. Vale lembrar que, no transporte de carga, essas duas escolhas ocorrem, em geral, de forma simultânea, podendo ser objetivamente caracterizada pelo custo total de cada opção, o que envolve não apenas os custos monetários diretos como também os indiretamente afetados por diferenças nos atributos listados: tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança.

O problema, nesse caso, é a utilização de diferentes variáveis que não possuem a mesma unidade de medida, sendo necessário transformar as variáveis qualitativas em uma medida monetária. Essa transformação é realizada por meio da estimativa de modelos de escolha discreta, abordagem amplamente utilizada na literatura de modelagem de transportes. O valor monetário auferido com esses modelos é chamado de propensão a pagar (*Willingness-to-Pay* – WTP) e expressa a taxa de substituição marginal entre o atributo considerado e o custo, dado uma utilidade constante.

A obtenção das estimativas de WTP dos atributos nos modelos de escolha discreta são diretas. No caso de funções de utilidade lineares nas variáveis, o WTP se dá pela divisão do coeficiente do atributo qualitativo estimado (β_{AQ}) pelo coeficiente de custo (β_C): $\frac{\beta_{AQ}}{\beta_C}$.

A abordagem de escolha discreta considera que cada indivíduo n possui um conjunto de alternativas, sendo que cada alternativa possui uma série de características associadas (X_{nj}). O indivíduo irá escolher uma, e apenas uma, entre as escolhas possíveis, sendo aquela que lhe garantir o maior nível de utilidade.

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} = \beta'_n X_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (4)$$

Com β_n representando um vetor de coeficientes das variáveis X_{nj} , que indicam as preferências dos indivíduos, agrupadas no vetor X_{nj} ; e ε_{ni} representando o termo de erro.

Assim, o agente n escolherá determinada alternativa, dada uma combinação dos fatores observáveis e não observáveis, sendo que a $U_{ni} > U_{nj}$ para todo $j \neq i$.

Como o termo ε não é observável, a escolha do agente não é determinística. Dessa forma, trabalha-se com a probabilidade de ocorrência de um determinado resultado, ou seja, a probabilidade de o agente n escolher a alternativa i será:

$$P(n_i) = \text{Prob}(U_{ni} \geq U_{nj}, \forall j \neq i) \quad (5)$$

$$\text{Prob}(V_{ni} + \varepsilon_{ni} \geq V_{nj} + \varepsilon_{nj}, \forall j \neq i) \quad (6)$$

$$\text{Prob}(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} \leq V_{ni} - V_{nj}, \forall j \neq i) \quad (7)$$

Train (2009) expressa essa probabilidade por meio de uma função indicadora I , sendo que $I(.) = 1$ se o agente escolher a alternativa i e $I(.) = 0$ se escolher outra alternativa. Colocado dessa forma, o autor mostra que a probabilidade é uma integral do indicador para o resultado do processo comportamental de escolha sobre todas as possibilidades de valores do fator não observado.

$$P = \int_{\varepsilon} (\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} \leq V_{ni} - V_{nj}) f(\varepsilon_n) d\varepsilon_n \quad (8)$$

O problema que surge desse modelo está em como tratar a função densidade do termo de erro. Das soluções apresentadas, surgiram as diferentes estruturas de modelos.

O modelo mais tradicional e comumente usado na literatura é o modelo multinomial *logit* (MNL), que impõe algumas suposições ao termo de erro. A primeira é a condição de que ε_{ni} seja independente e identicamente distribuído (IID), seguindo uma distribuição do tipo Gumbel (ou valores extremos). A implicação disso é que não pode existir um fator não observado comum a afetar a utilidade de todas as alternativas, e a extensão dos fatores não observados que afetam a utilidade é a mesma.

A segunda suposição do modelo MNL é a de que ele mantém a homogeneidade dos atributos das alternativas por meio dos indivíduos. Como enfatiza Bhat, Eluru e Copperman (2007), essa suposição faz com que os modelos MNL não permitam

variações de sensibilidade ou gostos para um atributo, como diferentes confortos em diferentes rotas de um mesmo modo de transporte.

A terceira suposição diz que, no modelo MNL, a estrutura da variância-covariância do termo de erro das alternativas é idêntica entre todos os indivíduos. Para Bhat, Eluru e Copperman (2007, p. 4, tradução nossa), “a homogeneidade de variância-covariância do termo de erro implica a mesma estrutura competitiva entre as alternativas para todos os indivíduos, uma suposição que é geralmente difícil de justificar”. No caso específico desse estudo, é de interesse que se permita a existência de heterogeneidade entre os respondentes, além do que, fatores não observados podem ser persistentes (correlacionados) no conjunto de alternativas.

Uma série de modelos alternativos foi proposta como forma de estender o modelo MNL para permitir a variação nas preferências. Entre esses, o modelo *mixed logit* se mostra bastante flexível, uma vez que relaxa as três limitações do modelo anterior.

De acordo com Train (2009), o modelo *mixed logit* pode ser derivado de diferentes maneiras. Assim, qualquer especificação das probabilidades de escolha na forma da equação 9 é chamada de modelo *mixed logit*.

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta) d(\beta) \quad (9)$$

Sendo, β a função densidade e $L_{ni}(\beta)$ a probabilidade *logit* avaliada no parâmetro β .

$$L_{ni}(\beta) = \frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta)}} \quad (10)$$

$V_{ni}(\beta)$ é a parte observada da utilidade que depende do parâmetro β . Ou seja, o modelo *mixed logit* é a mistura de uma função *logit* avaliada em diferentes β 's, com uma distribuição mista em $f(\beta)$. Com essa especificação, o modelo elimina as três limitações apontadas anteriormente do modelo MNL e, de acordo com Train (2009), se torna uma especificação bastante útil quando se tem m segmentos de uma população, em que cada um tem o seu comportamento de escolha ou preferências específicas. Visto que o comportamento dos embarcadores pode ser bastante heterogêneo, o modelo *mixed logit* se torna bastante apropriado para este estudo.

Com relação à base de dados utilizada, alguns tratamentos foram necessários para uma mensuração mais precisa dos valores monetários dos atributos. Primeiramente, foram identificados os respondentes com comportamento lexicográfico e inconsistente.

Os lexicográficos se referem aos embarcadores que basearam o seu processo de escolha em apenas um dos atributos do jogo. Conforme enfatizam Skedgel, Wailoo e Akehurst (2015), apesar de comportamentos desse tipo não serem inconsistentes com os axiomas da teoria de escolha, isso viola algumas hipóteses dos métodos de preferência declarada: tomada de decisão compensatória e uma função de utilidade aditiva. Essas preferências não podem ser representadas por uma curva de indiferença, e as taxas marginais de substituição não têm significado.

O questionário contou com um experimento construído por meio de um desenho fatorial completo, no qual não ocorreu a eliminação de respostas dominantes. Assim, foram geradas algumas opções ao longo do jogo em que uma das alternativas eram, em todos os atributos, pior ou pelo menos igual à alternativa comparada. Nesse caso, a escolha da alternativa dominada não representa um comportamento racional, pois o embarcador estaria disposto, por exemplo, a pagar mais por uma piora nos demais atributos. Embarcadores que apresentaram esse comportamento, denominados de inconsistentes, também foram retirados da amostra.

Por fim, excluíram-se os embarcadores que utilizaram os modos ferroviários, hidroviários, de cabotagem e dutoviários, ficando-se apenas com uma base dos embarcadores rodoviários. Como exposto na seção 3, a porcentagem de utilização dos demais modos foi pouco representativo. Como o nível base de custo e tempo muda de acordo com o modo utilizado, o baixo número de embarcadores com esses parâmetros gerou distorções no modelo e optou-se por retirá-los da amostra. Mesmo não trabalhando com outros modos, no entanto, a estimativa dos valores dos atributos serve de base para inferir comportamentos de escolha modal. Após esse tratamento, a amostra para estimação contou com um total de 11.839 embarcadores.

4.2 Resultados

A tabela 2 apresenta os resultados da estimação das preferências dos embarcadores considerando o modelo MNL, que foi incluído como referência, e o modelo *mixed logit* com

todos os parâmetros de escolha considerados aleatórios, especificados com uma distribuição normal. A estimação, por sua vez, contou com cinquenta desenhos de Halton.²

TABELA 2
Estimativas dos modelos MNL e *mixed logit*

Variáveis	MNL		<i>Mixed logit</i>	
	Coefficiente	S.E.	Coefficiente	S.E.
Média				
Custo	-0,0022	0,000	-0,223	0,002
Tempo	-0,127	0,003	-0,489	0,009
Confiabilidade	0,286	0,009	0,934	0,018
Flexibilidade	0,326	0,009	1,000	0,017
Segurança	0,418	0,009	1,214	0,019
S.D.	-	-	-	-
Custo	-	-	0,170	0,002
Tempo	-	-	0,161	0,017
Confiabilidade	-	-	0,743	0,042
Flexibilidade	-	-	0,595	0,041
Segurança	-	-	0,970	0,035
Log Likelihood	-129.243,35		-46.762,38	
Akaike (AIC)	258.500,70		93.548,76	
Bayesiano (BIC)	258.571,80		93.670,58	

Elaboração dos autores.

Obs.: S.D. – desvio-padrão (*standard deviation*); S.E. – erro-padrão (*standard error*).

Os resultados mostram que a utilização do modelo *mixed logit* trouxe um ganho significativo na verossimilhança logarítmica sobre o modelo MNL, passando de -129.243,35 no MNL para -46.762,38 no modelo *mixed logit*. Isso mostra a presença de heterogeneidade na utilidade marginal dos embarcadores sobre os parâmetros estimados. Além disso, tanto o critério de informação de AIC quanto o critério BIC apresentaram melhoras na estimação com o modelo *mixed logit* sobre o modelo MNL.

Os coeficientes foram todos significantes ao nível de 1% e apresentaram o sinal esperado. Os embarcadores têm preferência por menores custos e tempo de viagem e por maior segurança, confiabilidade e flexibilidade. Pelo modelo *mixed logit*, observa-se

2. A estimação foi realizada no *software* Stata 12.1, por meio do comando *mix logit* desenvolvido por Hole (2007). Os cinquenta desenhos de Halton são a quantidade padrão do comando utilizado. A acurácia da estimativa aumenta com a quantidade de desenhos utilizados, no entanto, o tempo de estimação também aumenta. Para fins deste estudo, a quantidade padrão se apresentou satisfatória.

também uma elevada heterogeneidade na preferência dos atributos confiabilidade, flexibilidade e segurança. Pela magnitude do desvio-padrão relativo ao coeficiente da média, temos que 10,5% dos embarcadores não se importam em incorrer numa confiabilidade menor que 80%; 4,7% não se importam em não ter flexibilidade na entrega; e 10,6% aceitam incorrer num risco de mais de 1% de perda.³

A correlação entre os coeficientes aleatórios estimados mostra uma alta correlação entre as variáveis exceto para o custo (tabela 3). A alta correlação entre a confiabilidade, flexibilidade e segurança mostra que o embarcador que possui uma elevada preferência por um dos atributos também tende a avaliar positivamente uma melhora nos outros dois atributos mencionados. A implicação disso é que, em geral, os embarcadores buscam uma forma de transporte que lhes garanta essas três características em conjunto. A correlação com o tempo também é alta, mas negativa, o que implica que também buscam o menor tempo possível junto às demais qualidades em suas rotas.

TABELA 3
Correlação entre os coeficientes aleatórios de escolha do embarcador

Variáveis	Custo	Tempo	Confiabilidade	Flexibilidade	Segurança
Custo	1	-	-	-	-
Tempo	-0,139	1	-	-	-
Confiabilidade	0,091	-0,967	1	-	-
Flexibilidade	0,208	-0,941	0,935	1	-
Segurança	0,423	-0,927	0,854	0,917	1

Elaboração dos autores.

A variável custo apresentou uma correlação bem fraca com tempo, confiabilidade e flexibilidade; e moderada com segurança. Melhoras nos demais atributos em geral implicam um aumento nos custos de transporte: esse fato mostra que nem sempre os embarcadores estão de acordo em aumentar seus custos para obter uma melhora nos demais atributos. Alguns desses consideram o custo em suas escolhas de preferência sem se importar com as demais características.

Apesar disso, a estimação permite estabelecer uma relação entre as qualidades e seu valor econômico para o embarcador, por meio da relação entre os coeficientes

3. Essas porcentagens são obtidas pelo seguinte cálculo: $100 \cdot \Phi\left(\frac{-bk}{sk}\right)$, em que Φ se refere aos valores obtidos pela distribuição normal e bk e sk são a média e o desvio-padrão, respectivamente, dos k -ésimos coeficientes (Hole, 2007).

dos atributos de qualidade com o coeficiente de custo. De acordo com Hole e Kolstad (2012), em modelos *mixed logit* em que o atributo custo também é considerado uma variável aleatória no modelo, a estimação do WTP tem uma maior precisão se estimados dentro do modelo, conforme metodologia desenvolvida por Train e Weeks (2005). A tabela 4 apresenta os resultados da estimação.

TABELA 4
Valor monetário do tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança
(Em R\$/t)

Variáveis	WTP	Descrição
Tempo	2,33	WTP para redução de uma hora de viagem
Confiabilidade	4,70	WTP para 95% de certeza no horário de entrega
Flexibilidade	5,14	WTP para que se tenha flexibilidade na entrega
Segurança	6,25	WTP para até 0,25% de perdas

Elaboração dos autores.

Os resultados da estimativa da propensão a pagar reforçam a evidência de que os fatores de qualidade estudados têm significativa importância para o transporte de cargas. Os embarcadores, com uma distância média de 500 km, estariam propensos a pagar: R\$ 4,70/t para ter uma certeza maior que 95% de que a entrega será realizada no horário previsto (confiabilidade); R\$ 5,14/t para ter flexibilidade na entrega; e R\$ 6,25/t para ter nível de perdas menor que 0,25% (segurança).

O Brasil apresenta elevado risco no transporte de cargas. A avaliação gerada pela instituição britânica JCC Global Cargo Watchlist (JCC) para o mês de março de 2017 colocou o Brasil em sexto lugar entre os países com maior risco no transporte de cargas (JCC, 2017). A falta de segurança, vinda principalmente da qualidade das rodovias e por elevado número de roubos de cargas, resulta em um aumento do custo logístico para os embarcadores, e como resultado, observa-se uma elevada propensão a pagar por melhorias nesse atributo.

O valor de economia de tempo de viagem apresentou um WTP de R\$ 2,33/h. Neste momento, é interessante realizar um paralelo entre tempo e confiabilidade. O embarcador está disposto a pagar por uma redução do tempo, mas relativamente não é tão importante quando há certeza de que a entrega ocorrerá no prazo previsto. Esse resultado entra em conformidade com o apresentado por Larranga, Arrenga e Senna (2017) para o caso do Rio Grande do Sul, em que apontam uma elevada importância para o atributo de confiabilidade entre os embarcadores.

Os resultados apresentados até o momento tomam como base as preferências médias entre os embarcadores. No entanto, as funções de utilidade podem apresentar diferenças significativas de acordo com características particulares. Assim, de modo a observar as mudanças nas preferências devido a circunstâncias específicas dos embarcadores, a base de dados foi fracionada em subgrupos conforme a distância percorrida pelo embarcador, o vetor logístico e o tipo de carga.⁴

A tabela 5 apresenta os resultados do modelo *mixed logit* para cada subgrupo. Assim como no modelo geral, todos os coeficientes apresentaram o sinal correto, isto é, negativo para o custo e tempo e positivo para os demais atributos. O modelo foi significativo com relação à distância e ao vetor logístico, mas não o foi para o tipo de carga transportada dado um nível de 5% de significância. Desse modo, não são apresentados os resultados por subgrupo de tipo de carga.

Os coeficientes podem ser interpretados como a mudança no nível de utilidade do embarcador dado uma variação em um dos atributos. Nota-se que os coeficientes da variável segurança possuem os maiores valores em quase todos os subgrupos, o que indica que uma mudança marginal no nível de segurança tem um impacto considerável na escolha de rota do embarcador.

TABELA 5
Estimativas *mixed logit* com variáveis de contexto

Variáveis	Coefficiente	Z	Prob > z
Custo	-0,223***	-87,42	0,000
Tempo	-0,489***	-62,71	0,000
Confiabilidade	0,934***	52,49	0,000
Flexibilidade	1,000***	54,95	0,000
Segurança	1,214***	60,42	0,000
Distância	0,111***	8,99	0,000
Vetor logístico	-0,282***	-2,83	0,005
Tipo de carga	0,002**	1,93	0,054

Elaboração dos autores.

Obs.: (***) significância ao nível de 1%; (**) significância ao nível de 5%; e (*) significância ao nível de 10%.

4. O tipo de carga se refere a treze grupos de produtos, sendo: *i)* carga geral de baixo valor agregado; *ii)* carga geral de alto valor agregado; *iii)* atacadista; *iv)* minério de ferro; *v)* minerais metálicos; *vi)* minerais não metálicos; *vii)* cana-de-açúcar; *viii)* soja, milho e açúcar; *ix)* outros produtos da lavoura; *x)* cargas perigosas; *xi)* frigoríficos; *xii)* líquidos; e *xiii)* cargas de grande porte.

TABELA 6
Estimativas *mixed logit* por subgrupos

Variáveis		Custo	Tempo	Confiabilidade	Flexibilidade	Segurança		
		Coefficiente	Coefficiente	Coefficiente	Coefficiente	Coefficiente		
Distância	Até 100 km (n=3.199)	Média	-0,486 (0,0091)***	-4,505 (0,2082)***	1,451 (0,0452)***	1,581 (0,0473)***	1,880 (0,0527)***	
		S.D.	0,498 (0,0103)***	0,473 (0,3784)	-1,195 (0,0885)***	1,152 (0,1041)***	1,214 (0,1056)***	
	De 100 km a 300 km (n=2.951)	Média	-0,211 (0,0056)***	-0,86 (0,0255)***	0,917 (0,0407)***	0,959 (0,0384)***	1,168 (0,0430)*	
		S.D.	0,177 (0,0048)***	-0,563 (0,0481)***	1,406 (0,0747)***	1,433 (0,0782)***	1,376 (0,0741)***	
	De 300 km a 500 km (n=1.871)	Média	-0,207 (0,0056)***	-0,837 (0,0321)***	1,02 (0,0449)***	1,091 (0,0518)***	1,287 (0,0539)***	
		S.D.	0,309 (0,0105)***	-0,673 (0,0564)**	1,11 (0,1004)***	1,346 (0,0992)***	1,505 (0,0961)***	
	De 500 km a 1.000 km (n=1.797)	Média	-0,205 (0,0071)***	-0,503 (0,0184)***	0,960 (0,0488)***	1,051 (0,0499)***	1,302 (0,0512)***	
		S.D.	0,253 (0,0095)***	0,325 (0,307)***	-0,789 (0,0985)***	-1,28 (0,0928)***	0,995 (0,1000)***	
	Acima de 1.000 km (n=2.021)	Média	-0,17 (0,0064)***	-0,298 (0,115)***	0,902 (0,0483)***	1,001 (0,0502)***	1,208 (0,0524)***	
		S.D.	0,114 (0,0046)***	0,181 (-0,0187)	-0,932 (0,1036)***	0,852 (0,0981)***	1,087 (0,0915)***	
	Vetor logístico	Amazônico (n=285)	Média	-0,072 (0,0081)***	-0,243 (0,4264)***	0,420 (0,1418)**	0,687 (0,1546)***	0,976 (0,1555)***
			S.D.	0,121 (0,0132)***	-0,140 (0,0941)	1,412 (0,2045)***	1,527 (0,2205)***	1,811 (0,2713)***
Centro Norte (n=254)		Média	-0,089 (0,0117)***	-0,255 (0,0474)***	0,343 (0,1246)**	0,708 (0,1342)***	1,116 (0,1479)***	
		S.D.	0,111 (0,0118)***	-0,219 (0,0844)**	0,957 (0,1976)***	1,516 (0,2152)**	-1,853 (0,2270)***	
Centro Sudeste (n=5.002)		Média	-0,231 (0,0043)***	-0,527 (0,0129)***	0,98 (0,0263)***	1,052 (0,0259)***	1,233 (0,0278)***	
		S.D.	0,233 (0,0037)***	-0,241 (0,0262)***	-1,023 (0,0509)***	-0,443 (0,0765)***	-0,404 (0,0806)***	
Leste (n=2.389)		Média	-0,172 (0,0054)***	-0,517 (0,0206)***	0,758 (0,0359)***	0,853 (0,0357)***	1,094 (0,0419)***	
		S.D.	0,185 (0,0066)***	0,411 (0,3564)***	1,292 (0,0812)***	0,861 (0,0992)***	1,438 (0,0925)***	
Nordeste Meridional (n=324)		Média	-0,135 (0,0125)***	-0,493 (0,0600)**	0,886 (0,1167)**	0,834 (0,1192)***	1,177 (0,1279)***	
		S.D.	0,191 (0,0171)***	-0,257 (0,0970)**	-0,696 (0,2129)***	0,827 (0,2225)***	1,526 (0,1867)***	
Nordeste Setentrional (n=661)		Média	-0,296 (0,0141)***	-0,525 (0,0359)***	1,368 (0,0861)***	1,233 (0,0796)***	1,338 (0,0882)***	
		S.D.	0,276 (0,0128)***	-0,299 (0,0464)***	0,573 (0,1607)***	-0,203 (0,1657)	1,127 (0,1301)***	
Sul (n=2.924)	Média	-0,210 (0,0056)***	-0,389 (0,0149)***	0,835 (0,0335)***	0,910 (0,0329)***	1,079 (0,0364)***		
	S.D.	0,223 (0,0054)***	-0,293 (0,0284)**	1,021 (0,0757)***	-0,728 (0,0838)***	-1,175 (0,0804)***		

Elaboração dos autores.

Obs.: 1. O erro-padrão encontra-se entre parênteses.

2. (***) significância ao nível de 1%; (**) significância ao nível de 5%; (*) significância ao nível de 10%.

3. n – número de embarcadores na categoria.

O processo de escolha também pode ser analisado observando o peso que cada variável exerce na função de utilidade do embarcador. Tomando por base uma função de utilidade linear, o peso de cada variável pode ser medido pela multiplicação do coeficiente e o valor do atributo (equação 11).

$$w_j = \beta_j \cdot x_j^* \quad (11)$$

Em que x_j^* se refere ao valor do atributo j e β_j é o coeficiente estimado da função de utilidade apresentado na tabela 5. Para os valores dos atributos de custo e tempo, considerou-se a média dentro de cada subgrupo. Nos demais atributos, os valores foram fixados, considerando a existência de flexibilidade e confiabilidade maior que 0,95% e perdas de até 0,25%. Os resultados estão apresentados na tabela 7. Observa-se que o custo é o fator dominante, tendo um peso global de 83,16%. O segundo fator mais importante é o tempo, com peso global de 8,34%, seguido em ordem de importância pela flexibilidade (3,04%), segurança (2,76%) e confiabilidade (2,69%).

TABELA 7
Peso de cada atributo na função utilidade do embarcador, geral e por subgrupo
(Em %)

Variáveis	Custo	Tempo	Confiabilidade	Flexibilidade	Segurança
Global	83,16	8,34	2,69	3,04	2,76
Distância					
Até 100 km	81,33	9,37	2,93	3,36	3,00
De 100 km a 300 km	79,99	9,77	3,30	3,63	3,32
De 300 km a 500 km	79,27	12,03	2,79	3,14	2,78
De 500 km a 1.000 km	80,65	11,73	2,36	2,72	2,53
Acima de 1.000 km	82,42	10,87	2,08	2,43	2,20
Vetor logístico					
Amazônico	75,17	12,63	2,68	4,61	4,91
Centro Norte	76,76	10,63	2,19	4,77	5,64
Centro Sudeste	82,67	8,56	2,81	3,17	2,79
Leste	80,97	10,23	2,65	3,14	3,01
Nordeste Meridional	75,29	13,45	3,70	3,67	3,88
Nordeste Setentrional	84,72	7,36	2,91	2,76	2,25
Sul	84,25	7,40	2,64	3,03	2,69

Elaboração dos autores.

Analisando os pesos entre os grupos, observa-se uma certa variabilidade tanto entre os valores intragrupos quanto em grau de importância das variáveis de qualidade. O grau de importância dos atributos flexibilidade, confiabilidade e segurança cai com o aumento da distância percorrida. O tempo, por sua vez, assume maior relevância em distâncias

médias e longas. É interessante notar o elevado grau de importância atribuído à segurança dos vetores logísticos Amazônico e Centro Norte em relação às demais localidades, e os embarcadores do Nordeste Setentrional, por seu turno, indicam uma maior importância relativa no atributo confiabilidade. O fator tempo apresenta alta variabilidade entre os vetores logísticos, com menor importância no vetor Sul e Nordeste Setentrional e maior importância no Nordeste Meridional e no vetor Amazônico.

Por fim, estimou-se o valor monetário de cada variável, apresentado na tabela 8. Os valores mostram o quanto o tomador de decisão está propenso a pagar por um melhor nível no tempo e nos atributos de qualidade. Conforme alertam Beuthe e Bouffieux (2008), o valor monetário dos atributos não se refletem da mesma maneira que o grau de importância dos derivados da função de utilidade. Além disso, não são comparáveis entre si, uma vez que possuem bases de variação diferentes.

TABELA 8
Valor monetário de tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança, por subgrupo de distância e vetor logístico
(Em R\$/t)

Variáveis	Tempo ¹	Confiabilidade ²	Flexibilidade ³	Segurança ⁴
Distância				
Até 100 km	9,28	2,99	3,26	3,87
De 100 km a 300 km	4,07	4,34	4,54	5,53
De 300 km a 500 km	4,04	4,92	5,26	6,21
De 500 km a 1.000 km	2,45	4,67	5,12	6,34
Acima de 1.000 km	1,76	5,32	5,90	7,12
Vetor logístico				
Amazônico	3,37	5,81	9,52	13,52
Centro Norte	2,86	3,85	7,94	12,52
Centro Sudeste	2,28	4,24	4,55	5,34
Leste	3,00	4,41	4,96	6,35
Nordeste Meridional	3,66	6,57	6,19	8,73
Nordeste Setentrional	1,77	4,62	4,16	4,52
Sul	1,85	3,98	4,34	5,15

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ WTP para redução de uma hora de viagem.

² WTP para 95% de certeza no horário de entrega.

³ WTP para que se tenha flexibilidade na entrega.

⁴ WTP para até 0,25% de perdas.

É possível observar, no entanto, grande variação na disponibilidade a pagar pelos diferentes atributos entre os subgrupos. No caso do tempo, os embarcadores que percorrem uma menor distância têm um maior WTP pela redução de uma hora de

viagem do que aqueles que operam em grandes distâncias. Esse fato pode se dar devido à importância que uma hora de viagem representa entre diferentes embarcadores em função da distância percorrida: para embarcadores que realizam viagens de até 100 km, uma hora representa cerca da metade do tempo total dispendido; já embarcadores que fazem viagens acima de mil quilômetros, a redução de uma hora tem impacto mínimo no tempo total de viagem.

Nota-se, entretanto, que o oposto ocorre no atributo confiabilidade, com os embarcadores de longas distâncias tendo um WTP maior que os de distâncias menores. Ou seja, a redução de uma hora representa pouco para embarcadores de longas viagens, mas tem uma maior propensão a pagar para ter certeza acima de 95% de que sua carga chegará no horário previsto. A confiabilidade apresenta grande variabilidade entre os vetores logísticos: enquanto os embarcadores dos vetores Nordeste Meridional e Amazônico têm um elevado WTP (R\$ 6,57 e R\$ 5,81, respectivamente), nos vetores logísticos Sul e Centro Norte, o WTP para confiabilidade não chegou a R\$ 4.

Os atributos flexibilidade e segurança seguem a mesma lógica da confiabilidade: devido à localidade do embarcador, quanto maior a distância percorrida, maior a WTP. De forma geral, a segurança se mostra um atributo bastante valorizado entre os embarcadores, sendo particularmente elevado nos vetores logísticos Amazônico e Centro Norte, com WTP de com R\$ 13,52 e R\$ 12,52, respectivamente.

5 PROPOSTA PARA A CONSTRUÇÃO DA FUNÇÃO DE CUSTO GENERALIZADO DE TRANSPORTE

Na abordagem clássica de modelos, o sistema de transporte é representado por uma rede que possui uma coleção de nós, os quais estão ligados entre si por um conjunto de arcos. Cada segmento dentro dessa rede possui um custo específico, que depende dos atributos presentes. O problema nesse sistema é de otimização, em que, em geral, se busca minimizar o custo de transporte. Assim, tem-se a necessidade de entender o custo generalizado presente em cada arco dessa rede.

Conforme estabelecido na equação 3, além do custo monetário, os custos totais seriam uma função dos parâmetros tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança. Na seção

anterior, colocamos esses parâmetros numa mesma medida de análise. Ainda é necessário, no entanto, especificar a forma como esses parâmetros vão influenciar na função de custo. Para essa construção, levam-se em conta os fatores que afetam o seu desempenho.

No caso do tempo, para o modo rodoviário, uma possível função de custo (C_{tempo}), com base em Jourquin, Tavasszy e Duan (2014), pode ser obtida de acordo com a distância e a velocidade média.

$$C_{Tempo} = d * \left(\frac{VT}{vel_R} \right) \quad (12)$$

Em que d representa a distância percorrida, vel_R a velocidade média utilizada no trajeto e VT o valor do tempo estimado para o embarcador. Considera-se, nesse caso, que a infraestrutura da rodovia afeta a velocidade média, podendo ser determinada uma velocidade média para o caso de rodovias não asfaltadas, rodovias asfaltadas de pista simples e rodovias asfaltadas de pista dupla ou mais.

A confiabilidade se deteriora devido aos atrasos que venham a ocorrer na entrega. Para sua modelagem, propomos que três situações sejam consideradas sobre a confiabilidade, sendo elas as mais comuns e não controláveis pelos embarcadores. Assim, podem ser especificadas as funções qualidade da rodovia, congestionamentos e taxa de acidentes. A confiabilidade pode ainda ser afetada pelo modo utilizado e sofrer perdas devido a horários de restrição de tráfego de veículos de cargas – todavia, como essas duas são de conhecimento prévio e podem ser adaptadas pelo embarcador, não serão consideradas para especificar a função de custo generalizado. A ideia é que possa ser criado um índice (I_{conf}) com as três características consideradas, com a intenção de classificar os arcos de rede de acordo com um nível de confiabilidade, nos moldes apresentados na tabela 1.

De forma distinta à característica apresentada na função de tempo, aqui, a qualidade da rodovia se refere a sua condição de conservação. Considerando-se uma rodovia em perfeita condição (estado de qualidade de 100%), pode-se trafegar na velocidade média considerada, *ceteris paribus*, não influenciando em nenhum tipo de atraso ao embarcador. À medida que a estrada se deteriora, no entanto, chegando a situações de ter que desviar de buracos que existem na pista, não é mais possível ao condutor andar na velocidade média considerada, sendo que a redução em relação ao que era esperado lhe acarreta em

possíveis atrasos. Considerando um caso extremo, de total deterioração, ou seja, estado de qualidade de 0%, a estrada se tornaria intrafegável, tornando o custo de confiabilidade bastante elevado. Entretanto, torna-se necessário um estudo empírico para determinar a forma da relação entre a qualidade e a velocidade da rodovia.

Da mesma forma que a qualidade, o congestionamento afeta a confiabilidade pela alteração na velocidade de tráfego mais lenta que a esperada pelo embarcador. Cada arco da rede possui uma capacidade de tráfego específica, e o congestionamento ocorre à medida que o fluxo de veículos se intensifica e atinge essa capacidade. A relação entre velocidade e fluxo de veículos é um tema bastante estudado na literatura da engenharia de transportes, mas não há um consenso sobre a melhor forma de representatividade.

Egami (2006) e Mon-Ma (2008) adaptaram a metodologia proposta pelo Highway Capacity Manual (HCM-2000), que considera uma relação linear entre fluxo e velocidade, para o caso do Brasil, a partir de dados coletados nas rodovias de São Paulo. Os trabalhos dos dois autores chegam a equações de velocidade média considerando mudanças no fluxo de tráfego das rodovias, que podem servir para especificar o efeito do fluxo de veículos sobre a confiabilidade na função de custo generalizada. Entretanto, não analisam o fluxo perto da capacidade limite da rodovia, de forma que se possa calibrar as diferenças em relação ao tráfego livre e situações de congestionamento. Nesse aspecto, um trabalho interessante é o de Sun e Zhou (2005), em que, por meio de análise de *cluster*, dividem a relação velocidade-fluxo em três regimes: *i*) no primeiro, a velocidade média não muda mesmo com o aumento no fluxo da rodovia; *ii*) no segundo, ocorre uma diminuição da velocidade média com o aumento no fluxo; e *iii*) por fim, o terceiro diz respeito ao congestionamento. Convém observar que existe um ponto limite no qual o aumento de fluxo na rodovia ocasionaria situações de congestionamentos.

O terceiro ponto a afetar a confiabilidade aqui considerado se refere aos acidentes, que, ao ocorrerem, geram congestionamentos e atrasos, afetando a confiabilidade do embarcador. Nesse caso, a função seria uma probabilidade da ocorrência do acidente. Uma vez que ocorra, ele afeta a rodovia de forma a diminuir a sua capacidade de tráfego e, devido ao fluxo no local, gera congestionamentos. Assim, com o acidente, a função seria especificada nos mesmos termos da variável congestionamento, mas, aqui, como um deslocamento do ponto de limite de tráfego.

Outro atributo a integrar a função de custo generalizada diz respeito à segurança. O valor monetário da segurança entraria na função de custo, sendo calibrado pelas taxas de roubos e acidentes. Desse modo, seria necessário saber a probabilidade de roubos e tipo de acidentes em cada arco da rede e, por meio dela, um índice de segurança (I_{seg}) pode ser especificado, determinando faixas de perdas para o embarcador, conforme considerado na tabela 1.

Apenas o atributo flexibilidade, por ser uma característica mais dependente do operador logístico do que do modo ou rota utilizado, não teria uma clara utilização em modelos de alocação de fluxos em rede.

Cada arco da rede modelada precisa ter os atributos usados na função de custo. Assim, além dos atributos necessários ao cálculo do custo monetário, como a distância, será preciso ter os dados de velocidade média para, com a distância, se estimar o tempo de viagem no arco e os elementos que classifiquem o arco conforme as classes de confiabilidade e segurança (descritas na tabela 1).

Além disso, ainda é necessário considerar as unidades em que os custos são considerados na alocação em rede e os aqui calibrados. Na alocação em rede, os custos consideram as distâncias dos arcos e estão em reais por tonelada e quilômetro. Desse modo, multiplicando esse fator pela distância, em quilômetros, do arco, se obtém o custo do arco em reais por tonelada. Somando-se em todos os arcos de um caminho, se obtém o custo do caminho, também em reais por tonelada. Assim, os fatores de custo de cada atributo devem estar em reais por tonelada e quilômetro, para considerar a distância de cada arco.

Para o atributo tempo, como o fator aqui estimado está em reais por hora, basta considerar a velocidade média do arco e sua distância para considerá-lo adequadamente na função de custo, conforme a equação 12. Para os atributos confiabilidade e segurança, considerar a distância de cada arco não é de forma tão direta. Por exemplo, não seria possível tomar os resultados da tabela 4, de R\$ 4,70/t por não ter confiabilidade com 95% de certeza do horário de entrega em cada arco que não atenda esse requisito, pois o custo total de um caminho seria majorado em R\$ 4,70 vezes o número de arcos de baixa confiabilidade do caminho. Isso superestimaria o peso do atributo confiabilidade

no processo de alocação. Assim, é necessária alguma transformação dos fatores aqui estimados em reais por tonelada para reais por tonelada e quilômetro.

Uma abordagem lógica é considerar a distância das viagens declaradas pelos embarcadores que responderam à enquete usada nas estimativas. Infelizmente, esse dado está em faixas de distância, o que impõe a necessidade de se arbitrar uma distância média em cada faixa. A partir daí, porém, o cálculo dos fatores em reais por tonelada e quilômetro é bastante simples, bastando tomar os valores em reais por tonelada da tabela 4 e dividi-los pela distância média calculada, conforme apresentado na tabela 9.

TABELA 9
Valor de confiabilidade e segurança, por subgrupo de distância

Faixa de distância	Peso amostral (%)	Distância média ¹ (km)	Confiabilidade		Segurança	
			R\$/t	R\$/t.km	R\$/t	R\$/t.km
Até 100 km	26	75	2,99	0,0399	3,87	0,0516
De 100 km a 300 km	24	200	4,34	0,0217	5,53	0,0277
De 300 km a 500 km	15	400	4,92	0,0123	6,21	0,0155
De 500 km a 1.000 km	16	700	4,67	0,0067	6,34	0,0091
Acima de 1.000 km	19	1.200	5,32	0,0044	7,12	0,0059
Média geral	-	473	4,70	0,0099	6,25	0,0132

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Arbitrada em cada faixa.

Dessa forma, teríamos os valores de R\$ 0,0099/t.km para confiabilidade e de R\$ 0,0132/t.km para segurança. Assim, teríamos a função geral demonstrada a seguir para o custo de transporte C_{Tr} para cada arco da rede, em R\$/t.

$$C_{Tr} = d * \left\{ C_{frete} + \frac{VT}{vel_R} + V_{conf} * I_{conf} + V_{segur} * I_{segur} \right\} \quad (13)$$

Em que d representa a distância do arco, em km; C_{frete} o custo monetário de transporte, em R\$/t.km; vel_R a velocidade média utilizada no trajeto, em km/h, e VT o valor do tempo estimado para o embarcador, em R\$/h (que segundo a tabela 4 seria de R\$ 2,33/h); V_{conf} o valor da confiabilidade, em R\$/t.km; V_{segur} o valor da segurança, em R\$/t.km; e I_{conf} e I_{segur} são os índices de confiabilidade e de segurança, respectivamente, do arco. A partir do questionário da enquete usada na estimação dos valores de confiabilidade e de segurança (ver tabela 1), é possível definir os índices para cada arco da forma a seguir.

$$I_{conf} = \begin{cases} 1 & \text{confiabilidade de entrega abaixo de 95\%} \\ 0 & \text{confiabilidade de entrega maior ou igual a 95} \end{cases} \quad (14)$$

$$I_{segur} = \begin{cases} 1 & \text{acima de 0,25\% de perdas} \\ 0 & \text{até 0,25\% de perdas} \end{cases} \quad (15)$$

Com isso, o custo do arco será majorado se seus índices de confiabilidade e de segurança não forem satisfatórios.

Porém, como se observa nas tabela 8 e 9, há forte variação dos valores de tempo, confiabilidade e segurança entre as faixas de distância. Para viagens mais curtas, os valores são mais altos para o tempo e, em R\$/t.km, também para confiabilidade e segurança. Alocar todos os fluxos das matrizes origem-destino (O-D) usando os valores médios levaria a subestimar o peso do tempo, confiabilidade e segurança nas escolhas modal e de rota dos fluxos de curta distância, assim como superestimar o peso desses parâmetros nos fluxos de longa distância. A forma ideal para executar a alocação dos fluxos de carga à rede de transporte, considerando as diferenças das funções de custo por distância, é separar as matrizes O-D por faixa de distância. Assim, ter-se-ia, para cada produto, uma matriz O-D com os fluxos dos pares O-D cuja distância entre origem e destino seja de até 100 km, outra matriz cuja distância dos pares O-D seja de 100 km a 300 km, outra de 300 km a 500 km, e assim sucessivamente. Dessa maneira, as matrizes da faixa até 100 km usariam a função de custo da equação 13 com $VT = 9,28$, $V_{conf} = 0,0399$, e $V_{segur} = 0,0516$. Para as demais faixas de distância, basta tomar os valores do tempo da tabela 8 e os valores de confiabilidade e segurança da tabela 9, em reais por tonelada e quilômetro.

Por fim, cabe lembrar que, apesar de os parâmetros terem sido estimados usando respostas dos embarcadores que utilizam apenas o modo rodoviário, as funções de custo generalizado aqui propostas podem ser aplicadas a outros modos de transporte. Para isso, em cada arco da rede é preciso definir os valores dos atributos tempo, confiabilidade e segurança, além dos de custos de frete e distância já usualmente utilizados.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostram que, dado o elevado peso atribuído ao fator custo pelos embarcadores, do ponto de vista das políticas públicas, a principal

preocupação está em prover um sistema de transporte que garanta preços competitivos aos embarcadores. Os atributos de qualidade considerados, entretanto, também se mostraram importantes para os embarcadores. De forma geral, a segurança se mostrou um atributo de elevado valor entre os embarcadores, tendo uma propensão alta a pagar por uma diminuição para 0,25% de perdas em suas cargas. Como esperado, o tempo é também muito importante para o embarcador, mas isso depende da distância total de viagem. Em viagens curtas, o tempo é mais importante que em viagens longas, dado que uma hora adicional de viagem em um percurso que deveria durar apenas duas horas tem impacto substancialmente maior que uma hora a mais num percurso previsto para várias horas (ou mesmo dias).

Apesar do elevado peso dado aos custos monetários de transporte, os problemas e as opções de rota e de modo de transporte não podem ser reduzidos somente ao valor do frete. O experimento de preferência declarada conduzido pela EPL permitiu que o valor monetário de importantes atributos qualitativos do transporte de carga fosse estimado. Os valores monetários de cada atributo servem de base para a construção de uma função de custo generalizada, e essa função pode, então, ser usada em modelos de planejamento de transporte para melhor simular as decisões de modos e rotas dos embarcadores de carga. Dessa forma, a função de custo generalizada com os atributos qualitativos permite que a EPL considere os critérios qualitativos de escolha modal nos seus modelos de alocação de fluxos em rede.

A aplicação dessa função de custo generalizada de transporte em modelos de alocação em rede requer, entretanto, certo tratamento. Em primeiro lugar, os arcos da rede precisam ter as informações dos atributos considerados na função de custo. O mais sensível será, provavelmente, o relativo ao tempo de viagem, que pode ser obtido pela velocidade média no arco e sua distância. Outros atributos, no entanto, talvez sejam mais difíceis de obter, como os níveis de confiabilidade e segurança. O atributo flexibilidade de entrega, disponível nos dados usados na calibração, é o menos adequado para uso em alocação de fluxos em rede, por se tratar de uma característica do operador logístico, pouco dependente do modo e da rota utilizada. De qualquer forma, este trabalho propôs algumas abordagens para considerar esses atributos num processo de alocação de fluxos de transporte em rede, dentro de um sistema de planejamento da rede logística como o que a EPL tem trabalhado. Espera-se, com isso, dar mais acurácia aos resultados da modelagem desenvolvida pela EPL.

Um ponto para possível melhoria futura deste estudo é com relação aos diferentes tipos de mercadorias transportadas. Como apresentado, não houve diferença significativa nos valores dos atributos em função de que mercadorias os embarcadores transportam. Esse resultado pode ter sido influenciado primeiramente por problemas de autodeclaração no questionário, uma vez que os próprios embarcadores classificavam o tipo de mercadoria transportada, e houve alguns casos de produtos muito distintos se encontrarem numa mesma tipologia, de forma que uma nova reclassificação seria necessária. Além disso, outro fator foi o fato de as respostas consideradas válidas para a estimação serem apenas do modo rodoviário. Com isso, os produtos de mais baixo valor agregado, como minérios e grãos agrícolas, podem ter sido subrepresentados na amostra. A teoria indica que, para produtos de mais baixo valor agregado, o valor do tempo percebido pelos embarcadores tende a ser menor que para produtos de alto valor. Se os demais modos de transporte tivessem sido considerados adequadamente na enquete, é possível que os valores de tempo e demais atributos qualitativos fossem distintos para os produtos que usam modos de alta capacidade como ferrovias e hidrovias. Fica, assim, uma sugestão para repetir este estudo caso uma nova enquete seja realizada.

Com relação à função de custo generalizada, trabalhos futuros podem buscar a construção dos índices de confiabilidade e segurança. No mais, seria de grande interesse a aplicação empírica dessa metodologia a um determinado arco de rede, buscando determinar seu custo geral, de forma a aplicar a análise de custo-benefício de obras para melhoria de determinados atributos no arco, assim como comparar o custo de diferentes modos de transporte nesse segmento, levando em consideração todos os fatores analisados.

REFERÊNCIAS

BANOMYONG, R.; BERESFORD, A. **Multimodal transport corridors in South East Asia: a case study approach**. 2000. Tese (Doutorado) – University of Wales, Wales, 2000.

BEUTHE, M.; BOUFFIOUX, C. Analysing qualitative attributes of freight transport from stated orders of preference experiment. **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, v. 42, n. 1, p. 105-128, 2008.

BHAT, C. R.; ELURU, N.; COPPERMAN, R. B. Flexible model structures for discrete choice analysis. In: HENSHER, D. A.; BUTTON, K. J. **Handbook of transport modelling**. 2nd ed. Bingley, United Kingdom: Emerald Group Publishing, 2007. p. 75-104.

BOLIS, S.; MAGGI, R. Logistics strategy and transport service choices: an adaptive stated preference experiment. **Growth and Change**, v. 34, n. 4, p. 490-504, 2003.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2016**. Relatório Gerencial. 20. ed. 2016. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br>>.

COOK, P. *et al.* Key factors in road-rail choice in India: Applying the logistics cost approach. **Winter simulation conference**, v. 12, p. 1280-1286, 1999.

CULLINAME, K.; TOY, N. Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis. **Transportation Research Part E**, v. 36, p. 41-53, 2000.

DANIELIS, R.; ROTARIS, L. Analysing freight transport demand using stated preference data: a survey and a research project for the friuli-venezia giulia region. **Trasporti Europei**, v. 13, p. 30-38, 1999.

EGAMI, C. Y. **Adaptação do HCM-2000 para determinação do nível de serviço em rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil**. 2006. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2006.

EUROPEAN COMMISSION. **A sustainable future for transport**: Towards an integrated, technology-led and user-friendly system. Luxembourg: European Commission, 2009. Disponível em: <https://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/consultations/2009_09_30_future_of_transport_en>.

FLÖDEN, J.; BARTHEL, F.; SORKINA, E. **Factors influencing transport buyer's choice of transport service**: a european literature review. Trabalho apresentado em 12th World Conference on Transport Research Society, Lisboa, Portugal, 2010.

GROSSO, M. **Variables influencing transport mode choice**: a generalized cost approach. Messina, Italy: Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica, 2011. (Working Paper SIET 2011). Disponível em: <http://www.sietitalia.org/wpsiet/Grosso_Monica_Siet_2011.pdf>.

HANSEN, T. E. S.; MATHISEN, T. A.; JØRGENSEN, F. Generalized transport costs in intermodal freight transport. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 189-200, 2012.

HASHIBA, T. I. **Metodologia para escolha de modal do transporte, do ponto de vista da carga, através da aplicação do método de análise hierárquica**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

HOLE, A. R. Fitting mixed logit models by using maximum simulated likelihood. **The Stata Journal**, v. 7, n. 3, p. 388-401, 2007.

HOLE, A. R.; KOLSTAD, J. R. Mixed logit estimation of willingness to pay distributions: a comparison of models in preference and WTP space using data from a health-related choice experiment. **Empirical Economics**, v. 42, n. 2, p. 445-469, 2012.

JCC – JOINT CARGO COMMITTEE. **Global Cargo Watchlist – GCWL**. Versão 148. Somália: JCC, 2017. Disponível em: <<http://watch.exclusive-analysis.com/jccwatchlist.html>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

JEFFS, V. P.; HILLS, P. J. Determinants of modal choice in freight transport. **Transportation**, v. 17, n. 1, p. 29-47, 1990.

JIANG, F.; JOHNSON, P.; CALZADA, C. Freight Demand Characteristics and Mode Choice: An analysis of the results of modeling with disaggregate revealed preference data. **Journal of Transportation and Statistics**, v. 2, n. 2, p. 149-158, 1999.

JOURQUIN, B.; TAVASSZY, L.; DUAN, L. On the generalized cost - demand elasticity of intermodal container transport. **Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 14, n. 4, p. 362-374, 2014.

KROES, E.; SHELDON, R. Stated preference methods: an introduction. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 22, n. 1, p. 11-25, 1988.

LARRANAGA, A. M.; ARELLANA, J.; SENNA, L. A. Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul. **Transportation Research Part A**, n. 102, p. 202-211, 2017.

LEAL JUNIOR, I. C. **Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MCGINNIS, M. A. Shipper attitudes toward freight transportation choice: a factor analytic study. **International Journal of Physical Distribution e Materials Management**, v. 10, n. 1, p. 25-34, 1979.

MEIXEL, M. J.; NORBIS, M. A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. **The International Journal of Logistics Management**, v. 19, n. 2, p. 183-211, 2008.

MENELAU, B. G. **Infraestrutura do transporte: impactos sobre o setor produtivo, com ênfase nos modos rodoviário e ferroviário**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MON-MA, M. L. **Adaptação do HCM-2000 para rodovias com faixas adicionais típicas do Estado de São Paulo**. 2008. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2008.

NOVAES, A. G. *et al.* Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? O uso da técnica de preferência declarada para avaliar a intermodalidade no Brasil. **Transportes**, v. 14, n. 2, p. 11-17, 2006.

OLIVEIRA, R. L. M. **Modelo neuro-fuzzy para escolha modal no transporte de cargas. Instituto Militar de Engenharia.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

ÓRTUZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport.** England: John Wiley & Sons, 2001.

ROBERTS, K. W. Key factors and trends in transportation mode and carrier selection. **Pursuit – The Journal of Undergraduate Research at the University of Tennessee**, v. 4, n. 1, 2012. Disponível em: <https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1497/>.

SKEDGEL, C. D.; WAILOO, A. J.; AKEHURST, R. L. Choosing vs. allocating: discrete choice experiments and constant-sum paired comparison for the elicitation of societal preferences. **Health Expectations**, n. 5, v. 18, p. 1227-1240, 2015.

SUN, L; ZHOU, J. Development of multiregime speed-density relationships by cluster analysis. **Transportation Research Record**, Whashington, v. 1934, n. 1, p. 64-71, 2005.

TRAIN, K. E. **Discrete choice methods with simulation.** Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2009.

TRAIN, K. E.; WEEKS, M. Discrete choice models in preference space and willingness-to-pay space. *In*: ALBERINI, A.; SCARPA, R. **Applications of Simulation Methods in Environmental Resource Economics.** Springer Publisher: Netherlands, cap.1, p. 1-17, 2005.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Perfil de Embarcadores e Serviços Demandados.** Estudo das Características da Demanda de Transporte de Cargas. [s.l.]: EPL, [s.d.]. (Relatório Final). Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/perfil-de-embarcadores-e-servicos-demandados>>.

_____. **Perfil de Embarcadores e Serviços Demandados.** Base de Dados. [s.l.]: EPL, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/perfil-de-embarcadores-e-servicos-demandados>>.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Assessoria de Imprensa e Comunicação

EDITORIAL

Coordenação

Reginaldo da Silva Domingos

Supervisão

Carlos Henrique Santos Vianna

Revisão

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Crislayne Andrade de Araújo

Elaine Oliveira Couto

Lis Silva Hall

Mariana Silva de Lima

Vivian Barros Volotão Santos

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha (estagiária)

Editoração

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Mayana Mendes de Mattos

Vinícius Arruda de Souza (estagiário)

Capa

Danielle de Oliveira Ayres

Flaviane Dias de Sant'ana

Projeto Gráfico

Renato Rodrigues Bueno

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Livraria Ipea

SBS – Quadra 1 - Bloco J - Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

 **PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL

ISSN 1415-4765

